

研究速報

ダイポールアンテナによる乳幼児頭部内温度上昇と SAR の相関

藤本 正樹[†] 平田 晃正^{†a)} (正員)
塩澤 俊之[†] (正員)

Correlation between Temperature Increase and SAR in the Child Head Due to Dipole Antenna

Masaki FUJIMOTO[†], Nonmember, Akimasa HIRATA^{†a)}, and Toshiyuki SHIOZAWA[†], Members

[†] 大阪大学大学院工学研究科, 吹田市

Department of Communication Engineering, Osaka University, 2-1 Yamada-oka, Suita-shi, 565-0871 Japan

a) E-mail: hirata@comm.eng.osaka-u.ac.jp

あらまし ダイポールアンテナから放射される電磁波を曝露した際の、乳幼児と成人の頭部内における SAR (比吸収率) と温度上昇の相関について調べる。解析の結果、900 MHz ~ 2.45 GHz の周波数帯において、頭部内 10 g ピーク SAR と頭部内最大温度上昇の相関は、乳幼児と成人の間でほとんど差異がないことを示す。

キーワード 乳幼児, 生体熱輸送方程式, 温度上昇, SAR, ダイポールアンテナ

1. ま え が き

近年, 移動体通信技術の発達に伴い, 電磁波の人体に与える影響について大きな関心が寄せられている。特に, 携帯通信端末は, 人体頭部にごく近接した状態で使用されるため, 端末から放射される電磁波の人体頭部に及ぼす影響について多数報告されている。それらの報告の多くは, SAR 値を指標として定量的な考察を行っている。その背景には, 各種公的機関が策定した安全基準では, マイクロ波帯における安全性の尺度として SAR を用いていることが挙げられる。しかしながら, 電磁波曝露による直接的影響の一つとして懸念されるのは, 電磁波吸収に伴う温度上昇により生体機能に異常を来すことが挙げられる [1], [2]。ここで, 皮膚における温度上昇により痛みが生ずることが報告されているが, それは年齢にほとんど依存しないことが示されている [1]。このため, 人体頭部が携帯端末から放射される電磁波を浴びた場合の SAR 値を計算し, その値を熱源として用いて温度上昇を評価した報告もいくつかなされている [3] ~ [5]。特に, 筆者らのグループでは, 局所ピーク SAR と最大温度上昇の関連付けを試み, それらの間には, よい近似で比例関係が成立することを示した [6]。従来の報告では, 人体成人モデル

ルについてのみ取り扱われたものが多く, 乳幼児に与える影響に対して考察したものはほとんどない。しかしながら, 幼児が携帯電話を使う機会が以前に比べて増えていることから, 乳幼児への電磁波曝露に対する関心が高まってきている (例えば, [7] 参照)。そこで, 本論文では, ダイポールアンテナから放射される電磁波により乳幼児頭部モデルに生じる SAR 及び温度上昇を評価するとともに, 成人モデルとの相違について考察する。

2. 解析モデルと手法

解析に用いる乳幼児モデルの基準となる成人モデルは, 我々が文献 [8] で構築したものである。ただし, 一般に子供の頭部は大人の頭部を単純に縮小したものとは異なることが知られている。したがって, 本論文では, 文献 [9] に示された手法により, リアルなモデルを構築する。具体的には, 日本人に対する統計データ [10] をもとに, 成人頭部モデルを三つの部分に分割し, それぞれを異なる割合で縮小することにより, 厳密な 3 歳児, 7 歳児モデルを作成した。これらのモデルでは, 耳翼が押し潰された状態となっている。電磁波源としては半波長ダイポールアンテナを用いる。ここで, 我々は SAR と最大温度上昇の相関はアンテナ形状にほとんど依存しないことを明らかにしている [6]。励振周波数は, 900 MHz, 1.5, 1.9, 2.1, 2.4 GHz とし, 波源の位置としては, 右の耳孔より 22 mm のところを基準とし, 前後, 上下, 遠方にそれぞれ 1 cm ずらした計 10 点を考える (図 1 参照)。また, 出力電力は 1.0 W とする。ただし, SAR 及び熱的定常状態における温度上昇はともに出力電力に比例するため, 得られた結果は任意の出力電力に拡張できることを付記しておく [6]。

解析手順 [3] ~ [5] としては, まず FDTD 法により SAR を計算し, 次にそれを熱源とした生体熱輸送方程式を FD 法を用いて解くことにより, 各組織の温度上昇を求める。また, 1 g 及び 10 g ピーク SAR を計算する際の領域の形状は立方体とする。ただし, SAR を計算するときは立方体中に含まれる空気の量は 10% 未満とする。同様に, 脳内 SAR の計算には立方体中の脳以外の物質は 10% 未満とする。

3. 解析結果

筆者らの先の論文 [6] では, 頭部内及び脳内最大温度上昇は, それぞれ, 頭部内 10 g 及び脳内 1 g ピーク SAR によく比例することが示されている。そこで, 乳幼児についても同様に相関が成立するかを調べる。頭

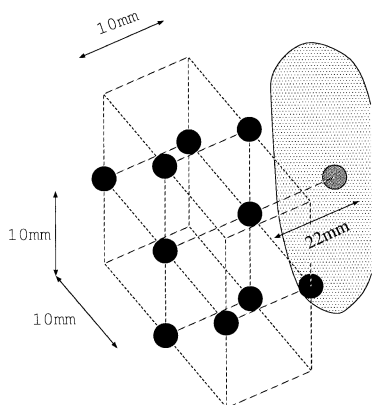


図1 人体頭部モデルと給電点の位置関係

Fig. 1 The positions of feeding points relative to human head model.

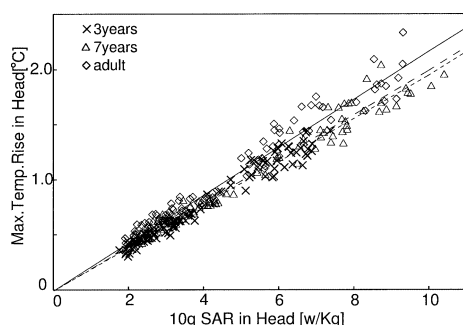


図2 頭部内最大 10 g 平均 SAR と頭部内最大温度上昇

Fig. 2 The maximum temperature increase versus peak 10 g SAR in the head.

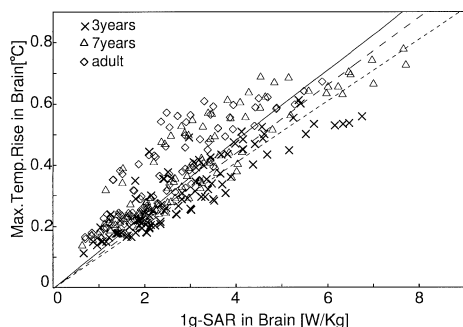


図3 脳内最大 1 g 平均 SAR と脳内最大温度上昇

Fig. 3 The maximum temperature increase versus peak 1 g SAR in the brain.

部内 10 g ピーク SAR と頭部内最大温度上昇の関係を図 2 に、脳内 1 g ピーク SAR と脳内最大温度上昇の関係を図 3 に示す。これらの図にある点線、破線、直

表 1 頭部内 SAR と頭部内最大温度上昇の回帰分析結果

Table 1 The maximum temperature increase versus peak 10 g SAR in the head.

	10 g SAR	
	a	r^2
3 year child	0.195	0.967
7 year child	0.197	0.969
Adult	0.220	0.962

表 2 脳内 SAR と脳内最大温度上昇の回帰分析結果

Table 2 The maximum temperature increase versus peak 1 g SAR in the brain.

	1 g SAR	
	a	r^2
3 year child	0.102	0.743
7 year child	0.109	0.785
Adult	0.119	0.750

表 3 物質定数の違いによる SAR と最大温度上昇の回帰分析結果 (3 歳児モデル)

Table 3 The effect of material constants of tissues on the temperature increase (the 3-year-old child model).

	10 g SAR	
	a	r^2
50%	0.200	0.908
100%	0.220	0.877
150%	0.239	0.730

線は、それぞれ、3 歳児、7 歳児及び成人データに最小 2 乗法を適用した際の回帰直線を示している。また、表 1～表 3 における a と r^2 は、それらの回帰直線の傾きと回帰直線がどれくらい有効かを示す決定係数を表している。これらの図より頭部内最大温度上昇と頭部内 10 g ピーク SAR、脳内最大温度上昇と脳内 1 g ピーク SAR はかなりよい近似で比例していることが分かる。また、年齢による回帰直線の傾きの差はたかだか 10% 程度である。一方、脳に対する回帰直線の傾きの差は 20% 程度であり、若干大きい (表 1、表 2 参照)。これは、3 歳児頭部モデルは、成人頭部モデルに比べ皮膚から脳までの厚さが薄いため、その領域に吸収される電力量が小さくなり、乳幼児モデルの脳における温度上昇が小さくなるためであろう。

近年、加齢に伴い、組織の物質定数が変化することが報告されている [11]。その報告によれば、乳幼児の組織の誘電率と導電率は、それぞれ、成人の 1.2～1.5 倍となる。そこで、本論文では、基礎的検討として、3 歳児モデルにおいて物質定数の値を成人の 150%、100%、50% と変化させた場合の頭部内 10 g ピーク SAR と頭部内最大温度上昇の関係を図 4 に示す。図中の点線、破線、直線は 50%、100%、150% に対する

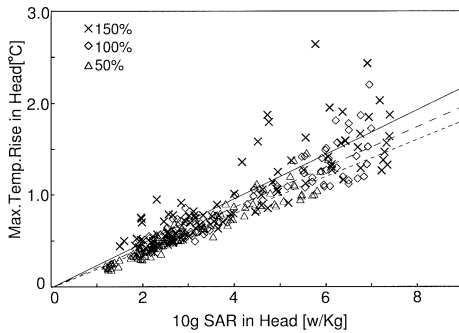


図 4 物質定数を変化させたときの頭部内最大 10 g 平均 SAR と頭部内最大温度上昇 (3 歳児モデル)

Fig. 4 The effect of material constants of tissues on the temperature increase (the 3-year-old child model).

回帰直線を示している。図 4 より、物質定数を大きく変化させても回帰直線の傾きの差はただか 10% であることが分かる (表 3 参照)。また、物質定数の変化が 150% の場合、数サンプルが回帰直線から外れているが、これらは周波数 2.45 GHz のときの結果である。つまり、回帰直線からずれる理由は吸収電力が人体表面に集中することにより、10 g の立方体で平均化したときに局所ピーク SAR が小さくなるからである。

4. む す び

本論文では、ダイポールアンテナから放射される電磁波を浴びた場合の厳密な乳幼児頭部モデル内の温度上昇を計算し、成人モデルとの相違について検討した。その結果、頭部内及び脳内最大温度上昇は、それぞれ、頭部内 10 g ピーク SAR 及び脳内 1 g ピーク SAR にほぼ比例することが分かった。また、乳幼児と成人を比較しても、局所ピーク SAR と最大温度上昇の相関には明確な相違はなかった。更に、物質定数の変化が相関に与える影響はただか 10% 程度であることが分かった。

謝辞 本研究を行うに際し、有益な御討論を頂いた藤原修教授並びに王建青氏 (名古屋工業大学) に厚く御礼申し上げる。

文 献

- [1] J.D. Hardy, H.G. Wolff, and H. Goodell, Pain Sensations and Reactions, chap IV and X, Williams & Wilkins, Baltimore, MD, 1952.
- [2] A.C. Guyton and J.E. Hall, Textbook of Medical Physiology, W.B. Saunders, Philadelphia, PA, 1996.
- [3] J. Wang and O. Fujiwara, "FDTD computation of temperature-rise in the human head for portable telephones," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.47, no.8, pp.1528–1534, 1999.
- [4] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, and E. Piuze, "Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular-phone user," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.48, no.7, pp.1118–1126, 2000.
- [5] A. Hirata, M. Morita, and T. Shiozawa, "Temperature increase in the human head due to a dipole antenna at microwave frequencies," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.45, no.1, pp.109–117, Feb. 2003.
- [6] A. Hirata and T. Shiozawa, "Correlation of maximum temperature increase and peak SAR in the human head due to handset antennas," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.51, no.7, pp.1834–1841, July 2003.
- [7] W. Stewart (chairman), Mobile Phone and Health. A report from the Independent Expert Group on Mobile Phones, Chilton, IEGMP Secretariat, May 2000.
- [8] A. Hirata, S. Matsuyama, and T. Shiozawa, "Temperature rises in the human eye exposed to EM waves in the frequency range 0.6–6 GHz," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol.42, no.4, pp.386–393, Nov. 2000.
- [9] J. Wang and O. Fujiwara, "Comparison and evaluation of electromagnetic absorption characteristics in realistic human head models of adult and children for 900-MHz mobile telephones," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol.51, no.3, pp.966–971, March 2003.
- [10] 人間生活工学研究センター, 日本人の人体計測データ, 1997.
- [11] A. Peyman, A.A. Rezazadeh, and C. Gabriel, "Changes in the dielectric properties of rat tissue as a function of age at microwave frequencies," Phys. Med. Biol., vol.46, pp.1617–1629, 2001.

(平成 15 年 8 月 27 日受付, 9 月 9 日再受付)